

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BEZDRÁTOVÝ TEMPLOMĚR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DALIBOR HONZA

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BEZDRÁTOVÝ TEMPLOMĚR

WIRELESS THERMOMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DALIBOR HONZA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁS MIČULKA,

BRNO 2011

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací bezdrátového teploměru, který bude komunikovat s počítačem pomocí technologie WiFi. Práce obsahuje popis kompletního vývoje zařízení od samotného návrhu, přes realizaci hardware, implementaci firmware až po vytvoření webové aplikace určené k zobrazování údajů. Práce je orientována na použití WiFi modulu s integrovaným webovým serverem od společnosti Connect One. Výsledky práce mohou být použity jako demonstrační příklad využití těchto modulů v běžné praxi. V závěrečné části práce je shrnutí dosažených výsledků a vize, týkající se možností rozšíření.

Abstract

This thesis describes the design and implementation of a wireless thermometer that will communicate with the computer using WiFi. The work describes complete development of the device from design stage to hardware implementation, firmware implementation, and finally creating a web application designed to display the data. The work is focused on the use of WiFi module with an embedded web server from Connect One. The results of the work may be used as a demonstration example of the use of these modules in common practice. In the final part, there is a summary of the results and a vision of extension options.

Klíčová slova

Bezdrátový teploměr, WiFi, Web server, Connect One, Socket Nano iWifi

Keywords

Wireless Thermometer, WiFi, Web server, Connect One, Socket Nano iWifi

Citace

Dalibor Honza: Bezdrátový teploměr, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2011

Bezdrátový temploměr

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Lukáše Mičulky. Další informace mi poskytl Ing. František Slimařík. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Dalibor Honza
18. května 2011

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Lukáši Mičulkovi za jeho odbornou pomoc při návrhu zařízení, a za jeho připomínky a podporu především při dokončování práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Františku Slimaříkovi za jeho pomoc na začátku práce.

© Dalibor Honza, 2011.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Technologie WiFi	4
2.1	Bezdrátové sítě	4
2.2	Charakteristika	4
2.2.1	Komponenty sítě	4
2.2.2	Typy sítí	5
2.3	Popis komunikace	6
2.3.1	Fyzická vrstva	6
2.3.2	Spojová vrstva	7
2.4	Bezpečnost sítě	8
2.4.1	Šifrování	8
2.4.2	Autentizace uživatelů	8
3	Návrh systému	10
3.1	Wifi modul	10
3.2	Mikrokontrolér	11
3.3	Zobrazovací jednotka	11
3.4	Teplotní senzor	11
3.5	Ovládání	12
3.6	Komunikace s PC	12
4	Wifi modul Socket Nano iWifi	13
4.1	Popis modulu	13
4.2	Zapojení a konfigurace	14
4.2.1	Základní nastavení	15
4.2.2	Web server	15
5	Návrh hardware	17
5.1	Socket Nano iWifi	17
5.2	Mikrokontrolér PIC 16F690	18
5.3	LCD displej	19
5.4	Teplotní čidlo DS18B20	19
5.5	Otočný spínač	21
5.6	Převodník RS-232 / 3,3V UART	21
5.7	Schéma zapojení	22
5.8	Návrh DPS	23

6 Implementace firmware	24
6.0.1 WiFi modul	24
6.0.2 Sběrnice 1-Wire	24
6.0.3 Teplotní čidlo DS18B20	25
6.0.4 LCD displej	26
6.0.5 Otočný spínač	26
7 Implementace webové aplikace	28
7.1 Popis aplikace	28
7.2 Možnosti rozšíření	29
7.2.1 Meteorologická stanice	29
7.2.2 Automatizovaná domácnost	29
8 Realizace a testování	31
8.1 Realizace	31
8.1.1 Výroba DPS a sestavení	31
8.1.2 Oživení	31
8.2 Testování	31
9 Závěr	33
A Úplná schémata zapojení	37
B Desky plošných spojů s osazením	39
C Fotografie	42
D Obsah CD	44
E CD	45

Kapitola 1

Úvod

Teploměry obecně jsou zařízení, která nás provází téměř na každém kroku. Běžně se používají analogové nebo digitální. V dnešní době se stále v hojnější míře objevují digitální teploměry fungující samostatně nebo v kombinaci s různě složitými systémy. Jejich výhodou je jednoznačně především v možnosti integrace do různých zařízení používaných v domácnosti, průmyslu, výzkumu a podobně. V řadě případů je potřeba zobrazovat údaj o teplotě místa, které není shodné s umístěním zobrazovací části zařízení. Příkladem je domácí meteostanice, která snímá venkovní teplotu a její zobrazovací jednotka je umístěna například v obývacím pokoji. Jiným příkladem může být teplotní čidlo umístěné ve venkovním bazénu.

V řadě situací je nepohodlné nebo zcela nemožné připojení teplotního čidla kabelem. Proto se v praxi využívá takzvaných bezdrátových teploměrů. Typickým příkladem využití jsou automatizované budovy s individuálním řízením vytápění.

Technologií umožňující bezdrátové spojení je více. Například radiové spojení (433 MHz nebo 868 MHz), WiFi nebo ZigBee (Informace z [1]).

Radiové spojení se běžně využívá pro účely komunikace jednoduchých zařízení. Často se s ním setkáváme například v bezdrátových domovních zvoncích nebo v již zmiňovaných meteostanicích. Jeho výhodou je jednoduchost a nízká cena. Nevýhodou může být dosah, šířka datového pásma a časté rušení.

WiFi je technologií objevující se nejčastěji při realizaci bezdrátových počítačových sítí. Její výhodou je univerzálnost, rychlost, šířka datového pásma a flexibilita. Nevýhodou může být vyšší cena hardwaru a pro jednoduché aplikace zbytečně komplikovaný protokol.

ZigBee je standard speciálně vytvořený pro komunikaci jednoduchých zařízení. Jeho výhodou je spolehlivost, dobrý poměr výkon/cena a nízká spotřeba. Nevýhodou může být malá šířka datového pásma.

Tato práce se zabývá návrhem teploměru, který je schopen bezdrátově komunikovat s počítačem prostřednictvím WiFi. Vybral jsem tuto technologii hlavně díky její univerzálnosti a jednoduchosti propojení s internetem. Dalším faktorem bylo využití kompaktního WiFi modulu od firmy Connect One [2].

V kapitole 2 je rozebrána obecná problematika bezdrátových sítí a především WiFi sítí. V další kapitole 3 je popsán navrhovaný systém, jaké komponenty by měl obsahovat a jaké parametry by měl splňovat. V následující kapitole 4 je popis WiFi modulu, na kterém práce do velké míry stojí. V následující kapitole 5 je popis a výběr konkrétního hardware. Navazuje přímo kapitola týkající se implementace firmware a vytvoření webové aplikace. Následují kapitoly týkající se realizace a testování 8 a v závěru je celkové zhodnocení a nástin možností rozšíření.

Kapitola 2

Technologie WiFi

Tato kapitola se zabývá stručným uvedením do problematiky bezdrátových sítí WiFi. Je zpracována převážně dle [3] a [4]. Obsahem je seznámení se s bezdrátovými sítěmi, charakteristikou WiFi, její strukturou a bezpečností komunikace.

2.1 Bezdrátové sítě

Bezdrátové sítě jsou takové sítě, které umožňují komunikaci s jinými zařízeními bez fyzického propojení kabely. V dnešní době existuje mnoho bezdrátových technologií např.: WiFi, Bluetooth, ZigBee, 3G, GSM, IrDA, RFID a další [5].

Mezi jejich nesporné výhody patří především: flexibilita, mobilita, úspora nákladů a přizpůsobitelnost [4].

Tato kapitola se zabývá technologií WiFi neboli IEEE 802.11, což je několik standardů popisujících komunikaci v počítačových sítích. Název WiFi vznikl jako zkratka anglického *wireless fidelity*. Technologie WiFi využívá bezlicenčního frekvenčního pásma a proto je ideální pro vybudování levné, výkonné sítě bez nutnosti pokládky kabelů [6].

2.2 Charakteristika

WiFi sítě jsou bezdrátové sítě založené na standardu 802.11 a jeho revizích. Vzhledem k využití bezlicenčního pásma, a s tím spojené cenové dostupnosti, jsou hojně rozšířené. Jsou to sítě pracující v pásmu 2,4 GHz (802.11b/g/n) a 5 GHz (802.11a). Od standardu 802.11a se především kvůli legislativě částečně ustoupilo. To dalo možnost vzniku nových standardů v pásmu 2,4 GHz, které ale dosahují z hlediska rychlosti stejných kvalit jako 802.11a tzn. rychlost až 54 Mbit/s. Nejmodernější z uvedených je 802.11n. Umožňuje mnohonásobný vstup a výstup zařízení a používá více vysílačů a přijímačů, aby zlepšil signál [6].

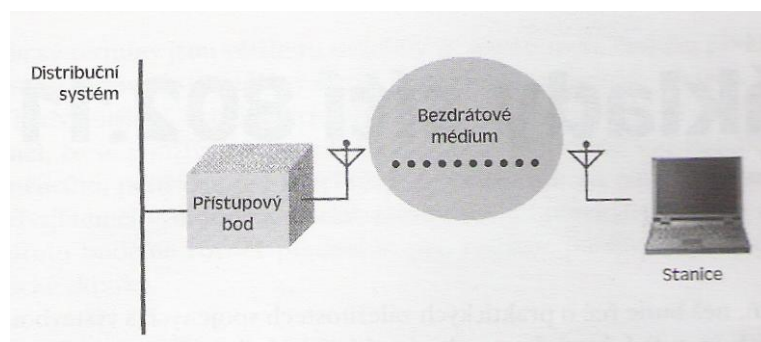
2.2.1 Komponenty sítě

Každá 802.11 síť obsahuje čtyři hlavní druhy fyzických komponentů:

- Distribuční systém
- Přístupový bod (tzv. access point)
- Bezdrátové médium

- Stanice

Funkce jednotlivých komponent je znázorněna na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1: Komponenty sítě 802.11 [3]

Distribuční systém – nejčastěji bývá řešen jako kombinace síťového mostu (tzv. bridge) a distribučního média, jímž je páteřní síť používaná pro přenášení dat mezi přístupovými body. Téměř vždy je touto páteřní sítí Ethernet.

Přístupový bod (tzv. access point) – jeho nejdůležitější funkcí je přemostění mezi kabelovou a bezdrátovou sítí.

Bezdrátové médium – pro bezdrátové sítě je médium to, co pro kabelové sítě kabel. Tzn. v případě standardu 802.11 se bavíme o dvou radiových frekvencích: 2,4 GHz a 5 GHz.

Stanice – bezdrátová síť je tvořena, aby umožňovala komunikaci mezi jednotlivými stanicemi. Takovou stanicí může být libovolné zařízení, které se dokáže do sítě připojit např. notebook, PDA, stolní počítač a podobně.

2.2.2 Typy sítí

Typ sítě se rozlišuje podle toho jakým způsobem probíhá komunikace mezi jednotlivými členy sítě. Existují dva základní typy sítí:

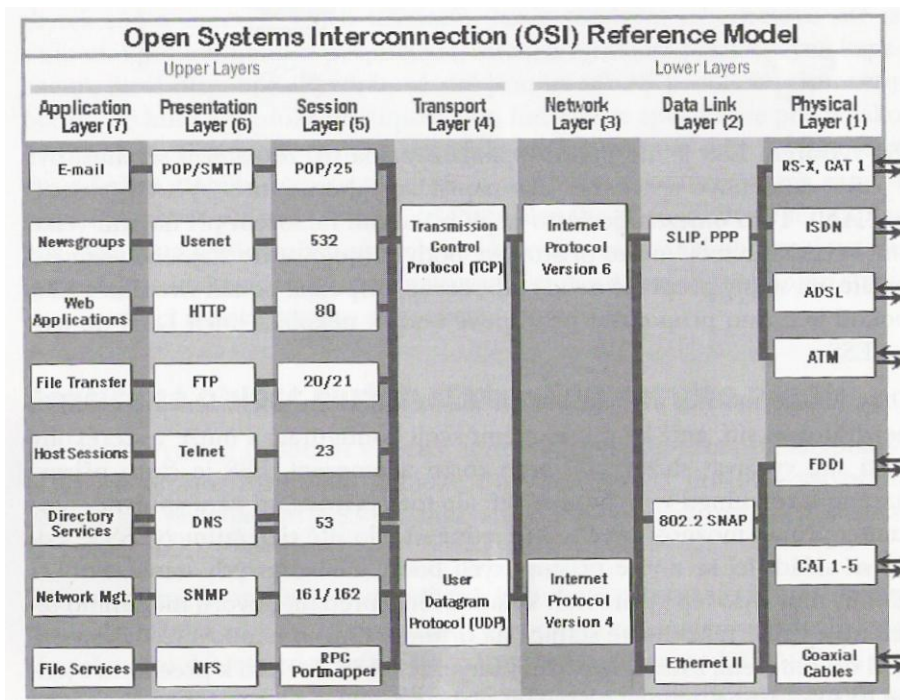
- Ad-hoc sítě
- Infrastrukturní sítě

Ad-hoc sítě se také někdy nazývají nezávislé sítě, protože jednotlivé stanice v takové síti spolu komunikují přímo podle potřeby, nezávisle na nějakém prostředníkovi. Znamená to, že pokud spolu chtějí dvě stanice komunikovat, musí být ve vzájemném radiovém dosahu. Toto řešení bezdrátové sítě může být vhodné pro malou síť několika stanic vzdálených od sebe jen pár metrů. V případě složitějších sítí toto řešení přestává být efektivní.

Infrastrukturní sítě svůj název nesou pro svoji vlastnost přesného vymezení infrastruktury. Roli spojovacích článků, zde hrají přístupové body (access pointy). Přístupový bod je rozhraním mezi drátovou a bezdrátovou sítí a plní funkci datového mostu, bridge. Je schopen komunikovat s více než jednou stanicí. Může proto propojovat dvě stanice v dosahu, nezávisle na tom, jestli chtějí používat most do kabelového Ethernetu. Výhodou takovéto struktury je také to, že pokud stanice chce komunikovat s více stanicemi, nemusí udržovat se všemi spojení, ale stačí jí pouze jedno s přístupovým bodem.

2.3 Popis komunikace

Na obrázku 2.2 obecný sedmivrstevný model OSI popisující princip komunikace počítačů propojených v síti.



Obrázek 2.2: Sedmivrstevný model OSI [3]

Jednotlivé vrstvy ISO/OSI od nejnižší k nejvyšší:

1. **fyzická vrstva** (physical layer) – komunikace na nejnižší hardwarové úrovni
2. **spojová vrstva** (data-link layer) – vrstva řešící kódování a přenos informací
3. **síťová vrstva** (network layer) – obsluha přenosných tras a zpráv
4. **transportní vrstva** (transport layer) – řízení doručování informací a kvality přenosu
5. **relační vrstva** (session layer) – udržování a koordinace komunikace
6. **prezentační vrstva** (presentation layer) – formátování, konverze a zobrazení přenesených dat
7. **aplikační vrstva** (application layer) – přenos informací mezi programy

Standard 802.11 definuje pouze dvě nejnižší vrstvy OSI modelu, tedy fyzickou a spojovou vrstvu. Díky tomuto faktu je možné využít bez úprav protokoly pro běžné použití v kabelové Ethernetové síti. Referenční model pro WiFi je na obrázku 2.3.

2.3.1 Fyzická vrstva

Je fyzickým rozhraním mezi zařízeními v síti. Vzhledem k bezdrátové síti, jsou v rámci této vrstvy definovány způsoby, jakými se přenáší rádiový signál v síti WiFi. Na obrázku

Spojová vrstva	LLC					
	IEEE 802.11 MAC					
Fyzická vrstva	IEEE 802.11 IR	IEEE 802.11 DSSS	IEEE 802.11 FHSS	IEEE 802.11a OFDM	IEEE 802.11b HR-DSSS	IEEE 802.11g OFDM

Obrázek 2.3: Referenční model ISO/OSI pro Wi-Fi [7]

2.3 je ve fyzické vrstvě zobrazeno několik různých standardů pro šíření radiového signálu v rámci frekvenčního pásma. Využívá se tzv. rozprostřeného spektra, kdy se systém různými technikami snaží využít frekvenční pásmo co nejefektivněji.

Nejmodernější z uvedených technik je OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Tato technika spočívá v rozdělení přenosového pásma na velké množství úzkých kanálů. Data se v každém kanálu přenášejí relativně pomalu, ale signál je takto mnohem robustnější. Ve výsledku je rychlost dána součtem dat všech kanálů až 54 Mbit/s.

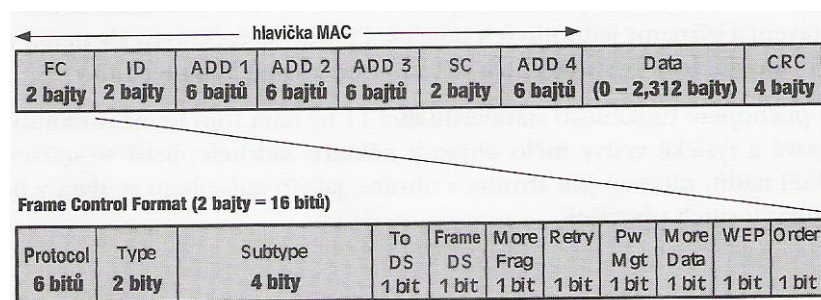
2.3.2 Spojová vrstva

Z hlediska WiFi sítě je nejdůležitější částí spojové vrstvy její podvrstva MAC (Media Access Control), která se stará o ovládání přístupu k mediu. Představuje soubor pravidel určujících, jak přistupovat k prostředkům pro přenos dat. Tvoří rozhraní mezi fyzickou vrstvou a hostitelskými zařízeními a také vytváří podporu ad-hoc i infrastrukturního zapojení sítě.

Aby si MAC podvrstva udržela svou robustnost má tyto dvě hlavní vlastnosti:

- CRC (Cyclic Redundancy Check) – každý přenášený paket je opatřen připojeným kontrolním součtem. Díky tomu je možné zjistit, jestli byl paket během přenosu poškozen nebo změněn.
- fragmentace paketů – přenáší pakety rozdělené do menších kousků. Protože u bezdrátové sítě je větší možnost chyby a opakované vysílání by příliš snižovalo kapacitu sítě.

Data jsou přenášena pomocí MAC rámců. Rámec je složen z MAC hlavičky a těla rámce. Struktura MAC rámce včetně velikosti jednotlivých částí rámce je na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: IEEE 802.11b - Formát MAC rámce [3]

MAC rámec je složen z těchto částí:

- **Frame Control (FC)** – obsahuje informace o verzi protokolu a typu rámce

- **Duration/ID (ID)** – identifikátor stanice a délka trvání rámce
- **Adress field 1-4** – adresy zdroje, cíle, přenašeče a přijímače v závislosti na Frame Control
- **Sequence Control** – používá se při likvidaci duplicit

2.4 Bezpečnost sítě

Bezdrátové sítě mají oproti kabelovým sítím nevýhodu pramenící z jejich principu: prostor, na kterém působí nelze dostatečně přesně vymezit. V případě kabelové sítě se potenciální narušitel do ní musí fyzicky připojit. U bezdrátové sítě však lze sledovat provoz na síti libovolným přijímačem, který je v dosahu. Zabezpečení bezdrátové sítě lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

1. **Šifrování** – zabezpečení přenášených dat proti odposlechu
2. **Autorizace** – řízení přístupu oprávněných uživatelů

2.4.1 Šifrování

Šifrování má u bezdrátových sítí velký význam především kvůli tomu, že data určená pro konkrétní počítač jde jen velice obtížně směřovat. Data jsou přenášena mezi všemi stanicemi v síti, takže kterákoliv stanice může odposlouchávat provoz ostatních stanic. V kabelových sítích tento problém řeší takzvané přepínače, které umožňují přenos dat jen mezi počítači, které se komunikace účastní. Realizace podobného systému v bezdrátové síti je však technicky velice obtížná.

Ve WiFi sítích se o zabezpečení stará WEP (Wired Equivalent Privacy). Pod tímto pojmem si lidé často představí šifru. Ale jak anglický název napovídá, WEP je ve skutečnosti standard pro zabezpečení radiové části sítě. V praxi to znamená, že komunikaci zajišťuje pouze mezi WiFi zařízeními na úrovni přístupového bodu. Pokud je například přístupový bod připojen do internetové sítě, odchází z něj data do Internetu v té formě, v jaké vznikají na počítači, který data odeslal. Bezpečnost datového toku je potřeba zajistit jinými prostředky, jako je například HTTPS nebo SSH a podobně. WEP ke své funkci používá symetrickou streamovou šifru RC4. Bližší popis funkce standardu WEP je v literatuře [3].

2.4.2 Autentizace uživatelů

V 802.11 je autentizace jednostranný proces, kdy se stanice musí vůči síti autentizovat, zatímco síť vůči stanicím tak činit nemusí. Jsou definovány dvě metody pro autentizaci:

- open-system autentizace
- shared-key autentizace

Při open-system autentizaci je zabezpečení založeno na znalosti SSID (Service Set Identifier) ze strany klienta. Přístupový bod přijme klientské zařízení na základě údajů, které toto zařízení poskytne. Pokud je SSID vysíláno, může libovolná stanice toto SSID přijmout a použít ho pro připojení do sítě. Takto mají umožněny přístup pouze ty stanice, které SSID znají. Existují však programy, které dokážou SSID i u takových sítí zjistit.

Princip shared-key autentizace spočívá v klíči, který je známý každému zařízení, které chce přistupovat do sítě. Klient je do sítě vpuštěn až tehdy, kdy přístupový bod ověří, že se klient na začátku komunikace prokázal správným klíčem. Pro kódování se používá algoritmus RC4 standardu WEP.

Další možnost zabezpečení je založená na filtrování MAC adres, tedy unikátních síťových adres každého zařízení. Toto řešení je poměrně efektivní, ale má dva hlavní problémy: MAC adresy je možné softwarově měnit a podvrhnout tak totožnost zařízení a druhým problémem je neefektivní distribuce seznamu MAC adres.

Existují ještě nadstandardní zabezpečovací prostředky vycházející ze standardu 802.1x. Zde se využívá obecného protokolu IEEE 802.1x. Používá k šifrování datové komunikace pro každé autentizované zařízení dynamické klíče. Tyto klíče jsou známy pouze danému zařízení, mají omezenou životnost a využívají se k šifrování rámců na daném portu, dokud se zařízení neodhlásí nebo neodpojí.

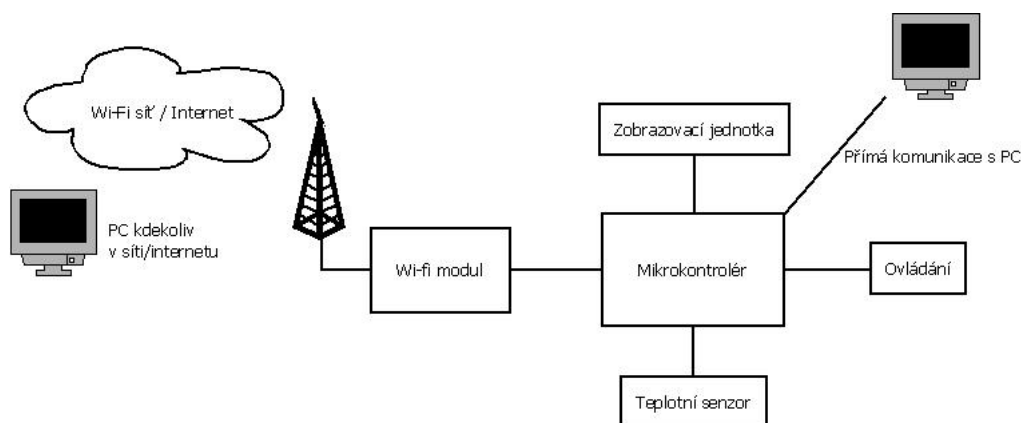
Posledním typem zabezpečení je mechanismus WPA (WiFi Protected Access) a novější WPA2. K šifrování komunikace nejen na začátku, ale i v průběhu, byl vytvořen protokol TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). Vyznačuje se tím, že na straně klienta běží v pozadí aplikace, která se stará o autentizaci klienta a správu šifrovacích klíčů. Autentizace probíhá pomocí externího autentizačního systému založeného na serveru Kerberos nebo RADIUS. V případě malých např. domácích sítí, kde je absence autentizačního serveru, se využívá zabezpečení pomocí PSK (Pre-Shared Key). Při tomto zabezpečení musí klient před vstupem do sítě zadat heslo, které je zpravidla možné prostřednictvím operačního systému uložit, aby ho nebylo potřeba opakovaně zadávat. WPA2 je pak standard, který je bezpečnější díky použití šifry AES (Advanced Encryption Standard). Zpracováno dle [8].

Kapitola 3

Návrh systému

Tato kapitola se zabývá obecným návrhem teploměru, který by dokázal komunikovat prostřednictvím WiFi sítě. Obecně ke konstrukci zařízení se dá říci, že záměrem bylo vytvořit kompaktní zařízení. Přestože bude sloužit pouze pro demonstrační účely, může bez větších změn najít uplatnění i v ostrém provozu.

Na obrázku 5.1 je blokové schéma navrhovaného bezdrátového teploměru. V jednotlivých podkapitolách je popsáno, jak by části zařízení měli fungovat a jaké parametry by měli splňovat. Popisem konkrétních elektronických součástí, které plní funkce jednotlivých funkčních bloků zařízení, se zabývá kapitola 5.



Obrázek 3.1: Blokové schéma bezdrátového teploměru

3.1 Wifi modul

Při návrhu bylo potřeba nalézt vhodnou platformu pro komunikaci s WiFi sítí. Realizace WiFi protokolu v rámci mikrokontroléru by byla velice náročná a znamenalo by to výrazný odklon od hlavního tématu práce – bezdrátového teploměru.

Proto bylo potřeba najít vhodný modul, který bude umožňovat komunikaci s WiFi sítí a zároveň půjde snadno připojit k řídicímu mikrokontroléru. Tomuto účelu skvěle vyhovují WiFi moduly od firmy Connect One, jejichž přehled je na stránkách firmy Spezial [9]. Zde uvedené moduly jsou zcela autonomní a pro své zprovoznění vyžadují jen minimum konfigurace. Umožňují komunikaci s WiFi sítí prostřednictvím UART, SPI některé dokonce prostřednictvím USB. Jejich obrovská přednost je i to, že obsahují integrovaný web server.

Zbývá jen dodat, že z dodávaných modulů firmy Connect One, byl pro návrh bezdrátového teploměru zvolen model Nano Socket iWiFi. Tento modul je technologicky ze všech čtyř nabízených modelů nejvyspělejší. Jako jediný má integrovanou anténu a rozměrově je nejkompaktnější. Bližším popisem zmiňovaného modulu se zabývá [5.1](#).

3.2 Mikrokontrolér

Srdcem celého zařízení je mikrokontrolér, který se stará o komunikaci s teplotním čidlem. Naměřenou teplotu zobrazuje na displeji a promítá ji do webové aplikace. V závislosti na programu vyhodnocuje naměřenou teplotu a s ohledem na další vnější podněty (např. vstupy ve formě tlačítek apod.) vhodně reaguje. Navíc řeší komunikaci s PC, které může být připojeno prostřednictvím sériové linky.

Při výběru vhodného mikrokontroléru je dobré orientovat se na takové obvody, které již mají integrované některé speciální moduly pro komunikaci s perifériemi (např. hardware UART). Dalším faktorem je velikost paměti pro řídicí program.

Při výběru vhodného obvodu jsem se orientoval na procesory PIC od firmy Maxim řady 16Fxx. Tyto procesory jsou velmi cenově příznivé, ale zároveň výkonné a na aplikaci podobného druhu zcela ideální. Dalším důvodem pro zvolení právě architektury PIC byly dřívější osobní zkušenosti.

Vhodným kandidátem, který by splňoval nároky vyvíjeného systému, ale zároveň by byl cenově příznivý, se stal mikrokontrolér PIC 16F690. Bližší seznámení s tímto mikrokontrolérem je v [5.2](#).

3.3 Zobrazovací jednotka

Údaj o teplotě je reprezentován především pomocí webové aplikace. Z praktických důvodů je ovšem výhodné zobrazovat teplotu i přímo u zařízení. Zobrazení hlídané teploty je žádoucí například v případě využití funkce termostatu.

Možností zobrazení je několik, ale nejlépe se jeví využít dnes běžně používané LCD displeje. K zobrazení údajů o teplotě a termostatu stačí pouze malý např. 8-znakový 2-řádkový displej. V zařízení je použit LCD modul s řadičem, který se stará o ovládání displeje. Bližší informace o konkrétním typu LCD modulu jsou v [5.3](#).

3.4 Teplotní senzor

Nedílnou součástí bezdrátového teploměru je teplotní senzor. Vyvíjené zařízení slouží pouze k běžnému použití například v domácnosti. Proto nároky na teplotní senzor nejsou příliš velké. Stačí rozsah běžných teplot a není požadována nějaká speciální mechanická odolnost, jako by to třeba bylo u teploměru v bazénu. Vzhledem k účelu teploměru bude čidlo v bezprostřední blízkosti celého zařízení.

Možností snímání teploty je více. Bylo by možné využít teplotně závislý odpor, takzvaný termistor [\[10\]](#). Výhodou takového řešení je jednoduchost a nízká cena. Nevýhodou je časová nestabilita a nelineární závislost odporu na teplotě, která má za následek nutnost tuto skutečnost řešit v firmware zařízení a provést kalibraci čidla.

Další možností jsou čidla na principu převodu teploty na střidu signálu. Příkladem takového čidla je například SMT160-30-92 [\[11\]](#). Výhodou oproti termistoru je, že výstupní střída obdélníkového signálu je závislá na teplotě lineárně. Nevýhodou je však poměrně

programově náročné měření střídý signálu. Jsou s tím spojeny také chyby měření, způsobené rychlostí vzorkování a délkou měření [12].

Pro bezdrátový teploměr byl vybrán digitální teplotní senzor DS18B20 od firmy DALLAS [13]. Tyto teplotní čidla mají hned několik výhod. Jsou digitální a nemusí se kalibrovat. Navíc se připojují přes datovou sběrnici 1-Wire, která umožňuje připojit za sebe i více čidel. (Nebo i dalších zařízení, která tuto sběrnici podporují.) Další výhodou je jednoduchá komunikace mezi čidlem a mikrokontrolérem. Bližší popis teplotního čidla DS18B20 je v kapitole 5.4.

3.5 Ovládání

Bezdrátový teploměr ke své funkci mnoho ovládacích prvků nevyžaduje. Jeho součástí je ale také termostat, který vyžaduje ze strany uživatele nastavení teplotní hranice, kterou má hlídat.

Nastavení termostatu je možné provést několika způsoby: prostřednictvím webové aplikace, přímé komunikace s pc nebo manuálním nastavením.

Webová aplikace a její možnosti jsou popsány blíže v kapitole 7. Přímá komunikace s PC je v obecné rovině popsána v 3.6. Třetí způsob, Manuální ovládání, bylo implementováno především z praktických důvodů. Typickým použitím bezdrátového teploměru může být využití funkce termostatu k hlídání teploty v místnosti. Pokud teplota v místnosti klesne pod určitou mez, zařízení například vyše povel ke spuštění plynového kotle. Přes nesporné výhody ovládání přes webovou aplikaci může nastat situace, kdy je manuální ovládání přece jen jednodušší.

Pro účely manuálního nastavení teploty termostatu bylo potřeba najít vhodný ovládací prvek. Jako ideální se jevil otočný spínač, který by umožňoval nastavení teploty intuitivně otočením kolečka a následným potvrzením stiskem. Tyto kritéria výborně splňuje otočný spínač P-ANP1S od firmy ZIPPY, blíže popsáný v kapitole 5.5.

3.6 Komunikace s PC

Jak ze zadání vyplývá, komunikace s PC je řešena bezdrátově prostřednictvím WiFi. Díky využití WiFi modulu, který má integrovaný webový server (viz 3.1, probíhá komunikace s PC prostřednictvím místní WiFi sítě. Počítač, který chce sledovat teplotu z bezdrátového teploměru, se jednoduše přes síť připojí na IP adresu WiFi modulu, kde je nainstalován webový server vhodně reprezentující měřenou teplotu.

Další možností komunikace s bezdrátovým teploměrem je prostřednictvím sériové linky. Je možné připojit prostřednictvím převodníku počítač přímo k zařízení a pomocí komunikačního protokolu na bázi AT příkazů ovládat zařízení z libovolné aplikace v PC. Navíc lze využít možnosti komunikace přímo s WiFi modulem v takzvaném AT+i módu [14].

Kapitola 4

Wifi modul Socket Nano iWifi

Tato kapitola se zabývá popisem WiFi modulu Socket Nano iWifi od společnosti Connect One. Je zpracována převážně dle materiálů výrobce [15] a [14].

4.1 Popis modulu

Socket Nano iWifi představuje WiFi bridge s velkou podporou zabezpečení, který umožňuje připojení téměř libovolného zařízení do WiFi sítě standardu 802.11b/g. Pochází z dílen firmy Connect One [2], která je v České republice zastoupená společností Spezial electronic [16]. Modul je velice kompaktního provedení. Díky dvěma 15-pinovým lištám je možné jej snadno připojit do libovolného stávajícího systému. Fotografie modulu i s rozměry je na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: WiFi modul Socket Nano iWifi

Modul je osazen procesorem iChip™CO2144 IP Communication Controller™ a WiFi chip-setem Marvell 88W8686 a obsahuje integrovanou anténu.

Celý modul lze velice snadno integrovat do libovolného zařízení bez velkých úprav. Nepotřebuje totiž žádné WiFi ovladače, dokonce ani mikrokontrolér, který by ho řídil. Po jednoduché konfiguraci, kterou je na začátku potřeba provést pomocí sériového rozhraní počítače, je schopen plně autonomního provozu. Pro komunikaci s okolím má zabudovanou podporu pro tato rozhraní:

- UART (až 3Mbps)
- SPI (až 12Mbps)
- RMI (až 50 Mbps/12Mbps pro TCP)
- USB

Modul je vybaven pokročilým rozhraním na bázi AT příkazů AT+i™. Díky tomu lze veškerou konfiguraci a komunikaci provádět bez přítomnosti speciálních WiFi ovladačů.

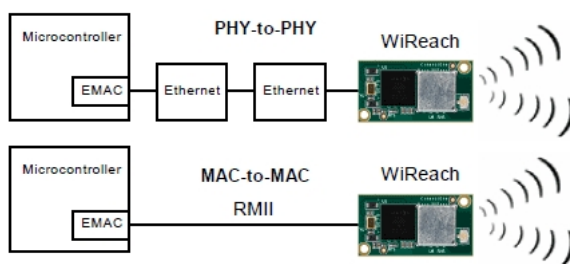
V modulu je integrováno hned několik internetových protokolů, které umožňují všestrannou komunikaci s modulem. Jedná se zejména o tyto protokoly: ARP, ICMP, IP, UDP, TCP, DHCP, DNS, NTP, SMTP, POP3, MIME, HTTP, FTP a TELNET.

V zařízení je implementována i široká základna protokolů a standardů zabezpečení. Modul podporuje tyto standardy: SSL3/TLS1, HTTPS, RSA, AES-128/256, 3DES, RC-4, SHA-1, MD-5, MD-2, WEP a WPA/WPA2. Z toho jsou 4 AES, 3DES, SHA-1 a WPA/WPA2 hardwarově akcelerovány.

Typickým použitím zmiňovaného modulu jsou aplikace, kde je potřeba jednoduchým způsobem a bez velkých úprav začlenit podporu WiFi. Například je možné nahradit LAN kabel mezi dvěma místy WiFi spojením. Nebo najde místo v aplikacích, u kterých je žádoucí, aby fungovali jako prostředníci mezi LAN a WiFi sítí. Své využití může nalézt i jako bezpečnostní prvek ve formě SSL v aplikacích typu M2M (machine-to-machine [17]).

Modul umožňuje práci v několika operačních módech:

- **LAN to WiFi Bridge** – transparentní přenos LAN přes WiFi k existujícímu MAC hardware za použití RMII. To dovoluje jakémukoli mikroprocesoru vybavenému Ethernet MAC připojit se do WiFi a to okamžitě, bez jakéhokoli dalšího vývoje.



Obrázek 4.2: LAN to WiFi bridge

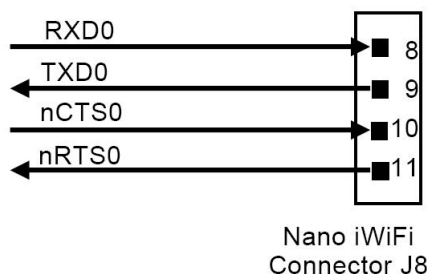
- **Serial to WiFi Bridge** – transparentní můstek mezi sériovým UARTem a WiFi. Tedy přenos UART přes WiFi s vysokou rychlostí 3Mbps. Jinými slovy jde o přenos sériové linky přes WiFi a obecně lze signál sériové linky (Rx, Tx, CTS, RTS) přenést přes internet do celého světa.
- **PPP emulation** – umožňuje připojit existující aplikaci (např. s GPRS modemem) používající PPP, připojit se beze změny hardware nebo software přímo do WiFi sítě.
- **Full Internet Controller mode** – jednoduchý procesor lze snadno připojit do internetu a využít bohaté možnosti WiFi modulu jako např. E-Mail, FTP, SSL, zabudovaný web server atd. Lze použít s jakýmkoli hardware.

Ke zmíněným informacím ještě zbývá doplnit, že moduly umožňují práci v režimu Ad-Hoc i Infrastructure (tzn. s využitím Access Pointu).

4.2 Zapojení a konfigurace

Wifi modul umožňuje připojení rozličnými druhy rozhraní. Ale první konfigurace je možná pouze skrze sériové rozhraní. Po úspěšné konfiguraci a připojení WiFi modulu do sítě, je

možné ke konfiguraci využít integrovaný webový server nebo například spojení přes USB a podobně.



Obrázek 4.3: Připojení sériového rozhraní

Pro spojení se sériovým portem počítače linkou RS-232 je potřeba použít převodník. Sériové rozhraní WiFi modulu není 5V tolerantní. Proto je potřeba použít převodník RS-232/3,3V UART (bližší popis je v 5.6). Pokud nejsou využity piny *CTS* a *RTS*, je vhodné je spojit dohromady. Pro správnou funkci je třeba vývod *RESET* připojit na +3,3V [18].

4.2.1 Základní nastavení

Modul lze konfigurovat buď ručně pomocí AT příkazů nebo pomocí konfiguračního nástroje iChipConfig [19]. Než přejdeme k základnímu nastavení, výrobce doporučuje zkontrolovat aktuálnost firmware. Postup, jak firmware aktualizovat je na stránkách výrobce [18].

Základní nastavení spočívá v připojení WiFi modulu k místnímu přístupovému bodu. V tomto případě bude WiFi modul fungovat jako klient WiFi sítě v režimu Infrastructure. V tabulce 4.1 je ukázán seznam příkazů, pomocí kterých lze WiFi modul nakonfigurovat. Seznam příkazů pochází z dokumentace výrobce [20].

1. AT+iFD restore to factory defaults
2. AT+iHIF=1 set the serial interface to RS232
3. AT+iBDRF=9 fix baud rate to 115200 after power cycle
4. AT+iRP20 list visible networks
5. AT+iWLSI=<SSID of network>
6. AT+iWST0=0 / 1 / 2 / 3 / 4 (None / WEP-64 / WEP-128 / WPA / WPA2)
7. AT+iWKY0=<WEP key 10 or 26 HEX characters>
8. AT+iWPP0=<WPA / WPA2 passphrase>
9. AT+iAWS=1 enable website upon reboot
10. AT+iDOWN reboot to apply settings

Tabulka 4.1: Základní nastavení WiFi modulu

4.2.2 Web server

V této podkapitole je přiblížen princip funkce integrovaného webového serveru. Informace jsou čerpány především z modelového příkladu výrobce na jeho stránkách [21].

Modul Socket Nano iWiFi je vybaven dvěma web servery s těmito vlastnostmi:

- uživatelský web server
 - adresa serveru `http://iIP adresa modulu_i/`
 - až 256 kByte
 - může obsahovat: HTML, obrázky, grafiku, Java applety, linky na externí stránky, WAP stránky a další
- konfigurační server
 - adresa serveru `http://iIP adresa modulu_i/ichip`
 - možnost kompletního nastavení
 - v případě potřeby lze zakázat

Web server je schopen zobrazovat libovolnou proměnnou z prostředí WiFi modulu. V tabulce 4.2 je několik ukázek možností práce a komunikace s webovým serverem.

zadání parametru:	<code>AT+i<parametr>=<hodnota></code>
dotaz na hodnotu parametru:	<code>AT+i<parametr>?</code>
zobrazení hodnoty parametru v HTML kódu:	<code>~<parametr>~</code>

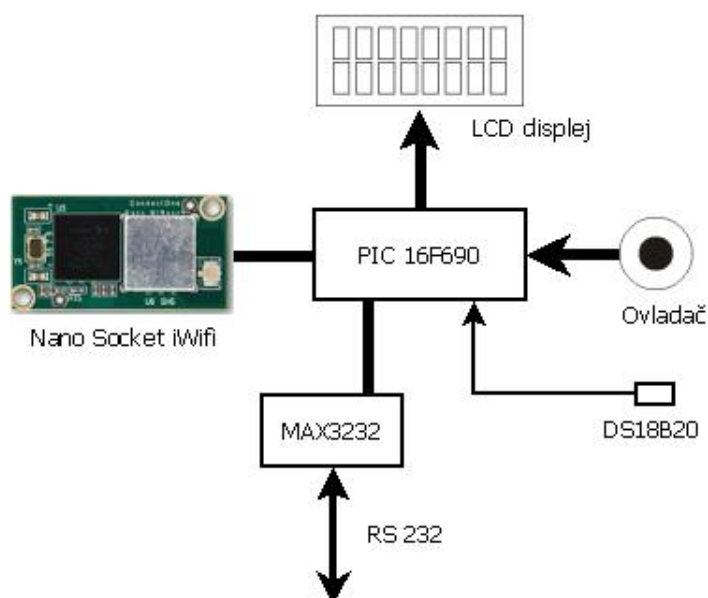
Tabulka 4.2: Příklad interakce s web serverem

Ve chvíli vytvoření webové stránky v libovolném textovém editoru zbývá už jen zkompilovat a nahrát do WiFi modulu. K tomu slouží již zmiňovaná utilita iChipConfig. Obsahuje podprogram Web site packer, pomocí kterého stránky zabalíme do image souboru a nahrajeme do wifi modulu.

Kapitola 5

Návrh hardware

Tato kapitola se zabývá návrhem a popisem hardware bezdrátového teploměru. K jednotlivým komponentám jsou uvedeny vybrané technické parametry. Na obrázku 5.1 je zobrazeno blokové schéma zařízení.



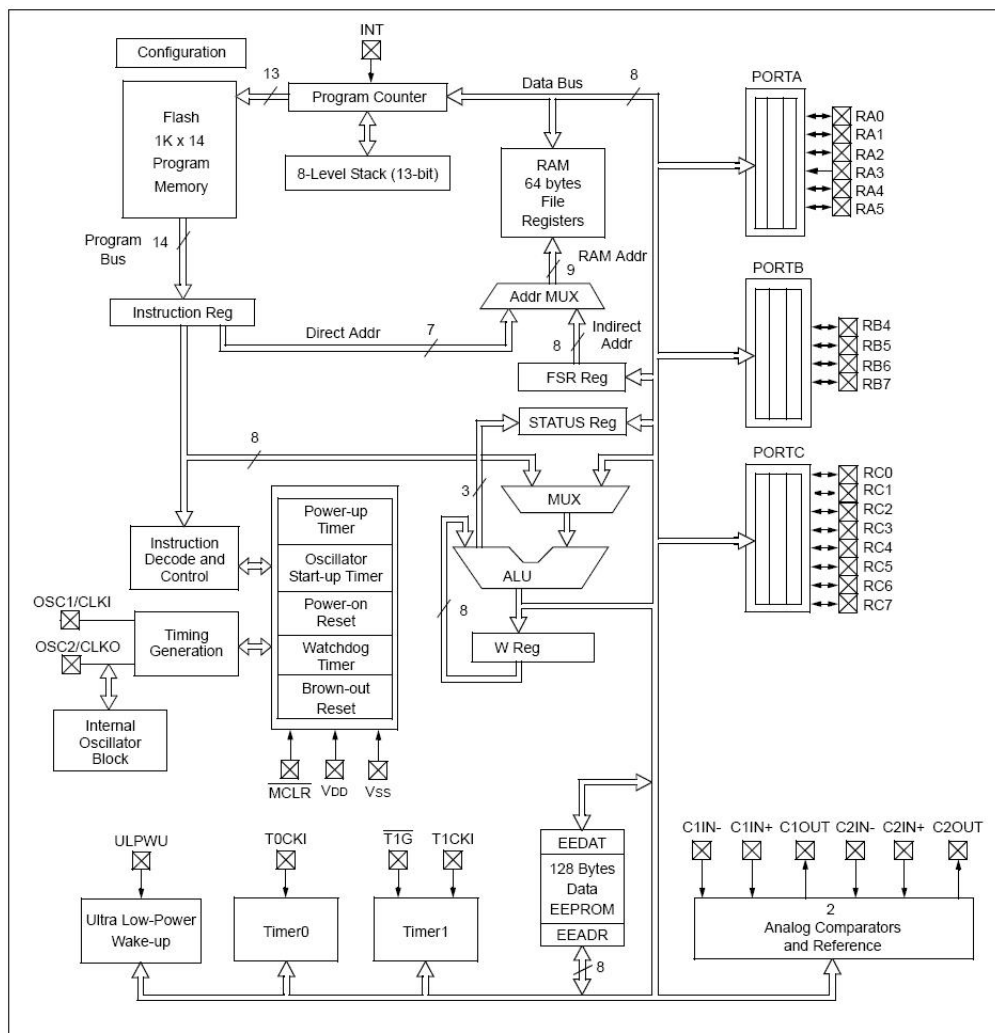
Obrázek 5.1: Blokové schéma.

5.1 Socket Nano iWifi

WiFi modul Socket Nano iWifi, jehož popis je v 4, je k mikrokontroléru připojen prostřednictvím sériového rozhraní UART. Komunikace probíhá pouze po dvou vodičích Tx a Rx. Modul má k dispozici i výstup DATA_RDY, který by bylo možné použít jako vstup přerušení v mikrokontroléru. Tento signál je nastaven v případě, že dojde ve webové aplikaci k nějaké změně. Signál ze strany mikrokontroléru není nikterak ošetřen. Jedním z důvodů je nedostatek pinů procesoru, na které by bylo možno navázat obsluhu přerušení. Nicméně hlavním důvodem je, že tento problém lze elegantně řešit programově dotazem, jestli došlo k nějaké změně.

5.2 Mikrokontrolér PIC 16F690

Jako řídicí jednotka celého bezdrátového teploměru byl vybrán 8-bitový mikrokontrolér PIC 16F690 v 20-pinovém pouzdře PDIP-20 [22]. Tento procesor byl vybrán především díky svému výkonu, příznivé ceně a široké podpoře z hlediska nástrojů pro práci s tímto typem procesorů. Blokové schéma mikrokontroléru je na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Blokové schéma mikrokontroléru 16F690

Mezi jeho klíčové vlastnosti patří:

- 8-bitový mikrokontrolér s vysokým výkonem a nízkou spotřebou
- architektura RISC (pouze 35 instrukcí)
- interní oscilátor 32kHz - 8MHz, maximální frekvence až 20 MHz
- široké rozmezí napájecího napětí 2,0V - 5,5V
- podporuje úsporný režim

- 4kb Flash paměti pro program (až 100000 zápisů)
- 256B EEPROM (až 1000000 zápisů)
- 128B SRAM (slouží jako paměť pro proměnné)
- 17 I/O pinů (a 1 pouze vstup) celkem rozdělených do 3 nezávislých portů
- 2 analogové komparátory
- 10-bitový A/D převodník s 12 kanály
- 3 časovače/čítače (dva 8-bitové a jeden 16-bitový)
- PWM - pulzně výstupní modulace, 4 kanály
- SPI a USART rozhraní
- dvouvodičové rozhraní I^2C
- možnost programování přes ICSP rozhraní
- Code protection
- Watchdog časovač, Brown-out Reset, ...

5.3 LCD displej

Aby mohl uživatel sledovat měřenou teplotu i bez použití počítače, je k zařízení připojen malý LCD displej. S ohledem na minimální množství údajů k zobrazování je použit dvouřádkový LCD displej MC0802, který je schopen zobrazit na každém z řádků 8 znaků. [23]. Jedná se o displej s integrovaným řadičem S6A0069 [24], který se stará o zobrazování znaků a komunikaci s okolím.

Řadič LCD displeje komunikuje typicky prostřednictvím osmi datových vodičů a třech vodičů (RS , E , W/R) vedoucí řídicí signály. Vodič RS slouží k přepínání mezi zápisem dat a instrukcí. E je signál, který povoluje operaci čtení nebo zápisu a W/R přepíná mezi režimem čtení a zápisu. Pokud displej slouží pouze k zápisu, je třeba W/R trvale uzemnit.

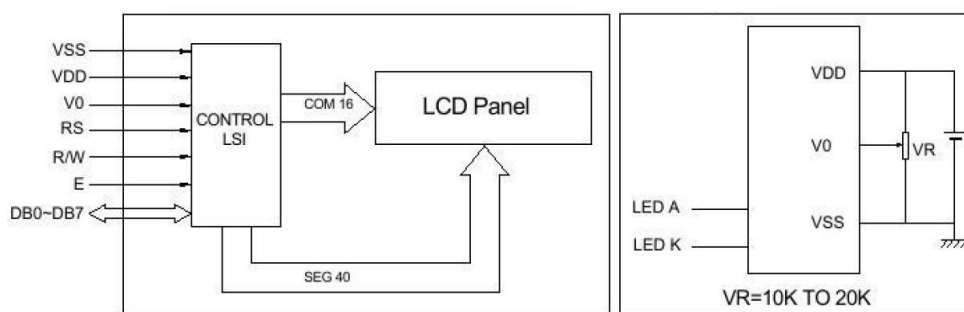
V případech, kdy není možné použít 8 datových vodičů, je možnost připojit řadič prostřednictvím 4 datových vodičů. Data jsou potom dělena a posílána na dvakrát po 4 bitech.

Displej v případě potřeby umožňuje podsvícení pomocí LED diod. Kontrast displeje se nastavuje trimrem $R4$ viz A.3.

5.4 Teplotní čidlo DS18B20

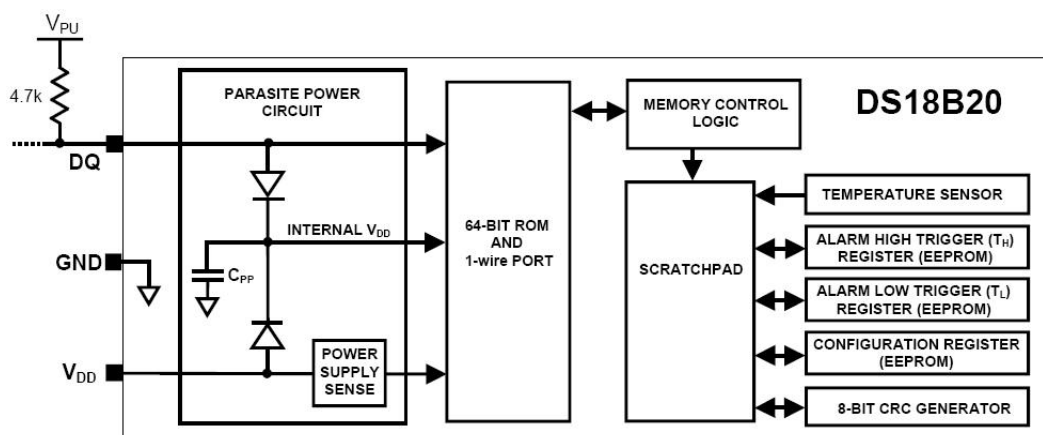
DS18B20 je digitální teplotní senzor od firmy Dallas s nastavitelným rozlišením 9-12 bitů, což odpovídá maximálnímu rozlišení $0,0625^{\circ}\text{C}$ [13]. Je schopen měřit teploty v rozsahu -55 až 125°C . Při teplotách od -10 do 85°C je přesnost čidla $0,5^{\circ}\text{C}$. Nabízí se zde i možnost využití vnitřního termostatu, který pomocí interního registru indikuje, že měřená teplota se vychýlila z nastavených mezí.

Čidlo komunikuje s okolím prostřednictvím sběrnice 1-Wire [?]. Což je speciální sběrnice, která ke své funkci potřebuje pouze jeden datový vodič. Bližší popis komunikace čidla s mikrokontrolérem prostřednictvím 1-Wire sběrnice je popsán v 6.0.3. Celý proces měření



Obrázek 5.3: Blokové schéma LCD displeje MC0802 [23]

teploty a následného zapsání do registrů je závislý na požadovaném rozlišení, ale maximální prodleva je 750ms. Přehled možností modulu je dobře patrný z následujícího obrázku:

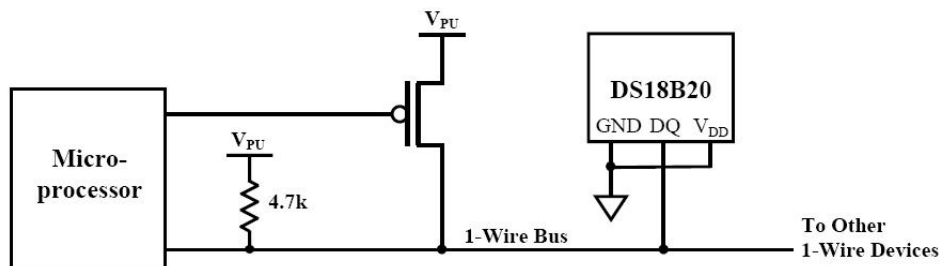


Obrázek 5.4: Blokové zapojení čidla DS18B20 [13]

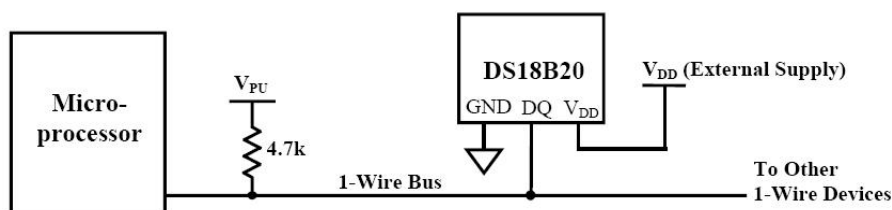
Čidlo je možno připojit a napájet dvěma způsoby, jež jsou zobrazeny na následujících obrázcích:

První způsob na obrázku 5.5 je použití externího napájení, kdy je čidlo připojeno jedním vodičem pro komunikaci a dalšíma dvěma je připojeno ke zdroji napájení. Druhý způsob na obrázku 5.6 je využití vysoké úrovně na datovém vodiči tzv. parazitní napájení. Při tomto druhu napájení je čidlo napájeno z datového vodiče DQ . Pokud je linka DQ ve vysoké úrovni, nabíjí se zároveň interní kondenzátor C_{pp} , který se stará o napájení čidla ve chvílích, kdy datový vodič je v logické 0. Obě varianty vyžadují připojení pull-up rezistoru, jak je uvedeno na obrázcích 5.5 a 5.6. Při parazitním napájení je navíc potřeba použít MOSFET tranzistor, který v době konverze teploty zajišťuje napájení čidla.

V zapojení bezdrátového teploměru je čidlo připojeno 3žilovým kabelem na vzdálenost několika centimetrů. Vzhledem k povaze vyvíjeného zařízení, nebylo potřeba čidlo umisťovat do větší vzdálenosti, kde by se jistě vyplatilo čidlo připojit pouze 2žilovým kabelem a použít možnost parazitního napájení.



Obrázek 5.5: Parazitní napájení čidla [13]



Obrázek 5.6: Externí napájení čidla [13]

5.5 Otočný spínač

Bezdrátový teploměr má implementovanou i funkci termostatu. Tento termostat je možné spravovat prostřednictvím webové aplikace nebo manuálně. Pro účely manuálního nastavení teploty termostatu bylo potřeba najít vhodný ovládací prvek. Jako ideální se jevil otočný spínač od firmy ZIPPY [25], který je na obrázku 5.7.



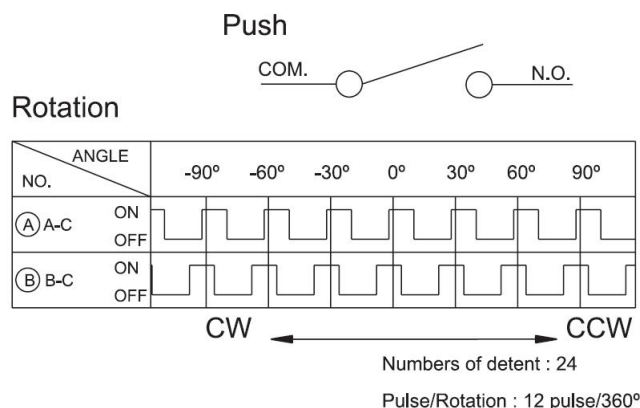
Obrázek 5.7: Otočný spínač

Výhoda takto zvoleného spínače je jednoduchost a intuitivnost ovládání. Teplota termostatu se nastavuje otáčením spínače doleva (pro nižší teplotu) resp. doprava (pro teplotu vyšší). Součástí spínače je i středové mikrotlačítko, které slouží pro potvrzení teploty. Na následujícím obrázku je znázorněna funkce otočného spínače v závislosti na úhlu otočení a stisku středového tlačítka:

Programová knihovna, která se stará o obsluhu tlačítka, je blíže popsána v 6.0.5.

5.6 Převodník RS-232 / 3,3V UART

Převodník slouží jako prostředník ke komunikaci mezi mikrokontrolérem a sériovým portem PC. Mikrokontrolér, s ohledem na další součástky, využívá napětí 3,3V. Logická 0 je repre-



Obrázek 5.8: Funkce otočného spínače

zentována napětím 0V a logická 1 odpovídá hodnotě napětí +3V,3V. Sériová linka RS232 osobního počítače pracuje tak, že logické hodnotě 1 odpovídá napětí -5 až -12V (záleží na aplikaci) a logické hodnotě 0 odpovídá napětí +5 až +12V [26].

Použitý převodník vychází z katalogového zapojení použitého integrovaného obvodu MAX3232CD [27]. Převodník v první fázi vývoje bezdrátového teploměru sloužil i jako komunikační prostředek se samotným WiFi modulem 5.1. Zapojení převodníku bylo převzato ze stránek výrobce WiFi modulu a mírně upraveno [28]. Změna se týkala výměny integrovaného obvodu za levnější variantu a použití výkonějšího zdroje stabilizovaného napětí 3,3V ve formě stabilizátoru TS1084CZ33 [29]. Tato úprava umožnila napájení WiFi modulu přímo z převodníku. Schéma zapojení vyrobeného převodníku je v příloze.

5.7 Schéma zapojení

Propojení popsaných komponent je znázorněno v schématu zařízení v příloze A.3. Převodník RS-232 / 3,3V UART je realizován zvlášť, proto je jeho zapojení na zvláštním obrázku tamtéž.

Schéma je rozděleno na dvě části: Část zajišťující napájení zařízení a část funkční. V ostrém provozu by zařízení bylo doplněno ještě o část výkonovou realizovanou efektozem připojeným na výstup mikrokontroléru. Výkonová část by měla na starost sepnout například plynový kotel na ohřev vody. Pro demonstrační účely je výkonová část nahrazena LED diodou LED1.

Napájecí část je tvořena dvěma stabilizátory IC1 a IC3. Napětí je přivedeno na svorku J1 a může být v rozmezí 5 až 12V. Při vyšším napětí se stabilizátory již hodně zahřívají. IC3 dodává stabilizované napětí 5V, které je potřeba pro správnou funkci LCD displeje. Zbytek zařízení funguje při napětí 3,3V, které stabilizuje IC1. Mikrokontrolér je navíc připojen přes diodu D2, která zajišťuje, aby při programování přes ICSP (lišta SV1) nebyl napájen zbytek zařízení napětím 5V.

Mikrokontrolér využívá externí oscilátor tvořený krystalem Q1 a kondenzátory C5 a C6.

Pinové lišty SV1 až SV6 slouží k připojení periférií. Přes lištu SV1 se připojuje přes rozhraní ICSP programátor mikrokontroléru. SV2 slouží k připojení otočného ovladače popsaného v 5.5. Lišta SV3 připojuje k zařízení 3-žilovým kabelem teplotní čidlo DS18B20

5.4. *SV4* je konektor se sériovým rozraním pro přímé propojení s PC. A konečně *SV5* a *SV6* jsou protikusy k 15-pinovým lištám s roztečí 2mm, kterými je osazen WiFi modul 5.1. Jediná periférie, která je připojena přímo k desce zařízení 9-žilovým kabelem, je modul LCD displeje. Za zmínku stojí trimr *R4*, který slouží k nastavení kontrastu.

5.8 Návrh DPS

Návrh desky plošných spojů byl důležitou součástí návrhu zařízení. Jedním z vedlejších cílů projektu bylo vytvořit kompaktní zařízení, které by svým provedením korespondovalo s kvalitou provedení použitého WiFi modulu.

K návrhu desky plošných spojů byl proto použit Eagle, profesionální program pro návrh elektronických zařízení. Jeho obrovskou výhodou je, že nabízí komplexní sadu nástrojů určených pro návrh zařízení. Nejdříve je v editoru programu vytvořeno schéma zařízení. Program Eagle obsahuje elektrotechnické popisy jednotlivých použitých součástek a dokáže proto do jisté míry kontrolovat správné zapojení. Tato funkce je v konečném důsledku při návrhu desky plošného spoje velmi užitečná. Dokáže totiž eliminovat řadu chyb, které vzniknou již při návrhu schématu.

Ze schematického zapojení je program Eagle schopen vygenerovat koncept desky plošného spoje. Výborný nástroj, který Eagle nabízí, je možnost automatického návrhu tzv. Autorouter. Nicméně kvalita výsledného návrhu velmi záleží na počátečním nastavení algoritmu Autorouteru.

Další možností je manuální překreslení dočasných spojů na cesty plošného spoje. Při tomto postupu program Eagle nabízí užitečnou funkci „Ratsnest“, která dokáže podle již nakreslených cest plošného spoje vypočítat nejkratší cestu pro dočasné spoje. Časté přepočítávání nejvýhodnějších cest vede k efektivnějšímu výslednému plošnému spoji.

Ideální se jeví kombinace obou přístupů. Nechat algoritmus Autorouteru navrhnout desku a ručně dořešit konflikty, případně zefektivnit některé cesty. Výsledná deska plošného spoje se nachází v příloze B.3. Popis výroby desky je stručně popsán v kapitole 8.1.1.

Kapitola 6

Implementace firmware

6.0.1 WiFi modul

Knihovna obsahuje funkce určené ke komunikaci s WiFi modulem. Tato knihovna má velký potenciál rozšíření. Pro účely bezdrátového teploměru bylo implementováno jen pár nezbytných účelových funkcí.

Vybrané funkce knihovny

```
wifinano_init(void)
```

Provede základní inicializaci komunikace s modulem a zapne webový server.

```
wifinano_at(const char *s)
```

Umožňuje poslat modulu AT příkaz. V návratové hodnotě je ukazatel na řetězec (s) odpovědi, kterou WiFi modul vrátil.

```
wifinano_set_var(const char *var, const char *val)
```

Nastaví v modulu proměnnou (var) na hodnotu (val).

```
wifinano_get_var(const char *var)
```

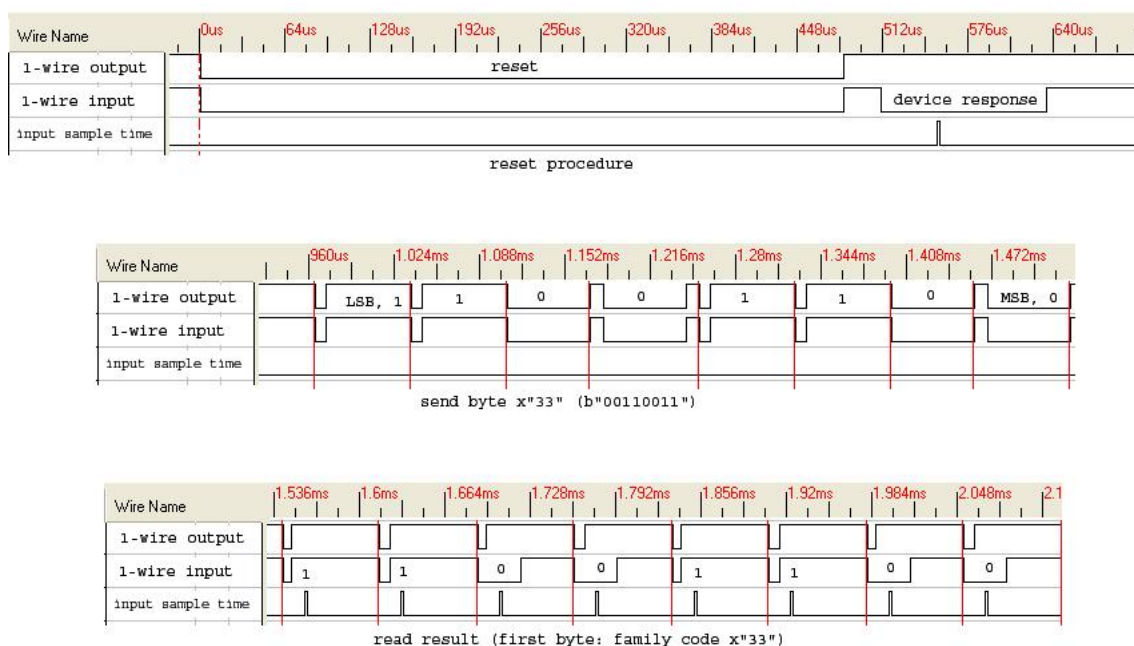
Přečte z modulu proměnnou (var).

6.0.2 Sběrnice 1-Wire

Knihovna obsahující funkce realizující komunikaci po sběrnici 1-Wire. Pro potřeby bezdrátového teploměru byly implementovány jen základní funkce pro obsluhu pouze jednoho zařízení na sběrnici. Knihovna byla převzata z [30] a upravena. Časový průběh jednotlivých procedur na sběrnici 1-Wire je na obrázku 6.1.

Vybrané funkce knihovny

```
D_Reset(void)
```



Obrázek 6.1: Typy procedur při komunikaci po sběrnici 1-Wire [31]

Provádí reset zařízení na sběrnici.

`D_Write(unsigned char Data)`

Zapíše jeden byte (Data) na sběrnici.

`D_Read(void)`

Přečte jeden byte ze sběrnice a vrátí ho jako návratovou hodnotu.

6.0.3 Teplotní čidlo DS18B20

Komunikace s teplotním čidlem probíhá prostřednictvím knihovny pro sběrnici 1-Wire. Knihovna byla vytvořena podle [30].

Vybrané funkce knihovny

`ds18b20_read(int *temp)`

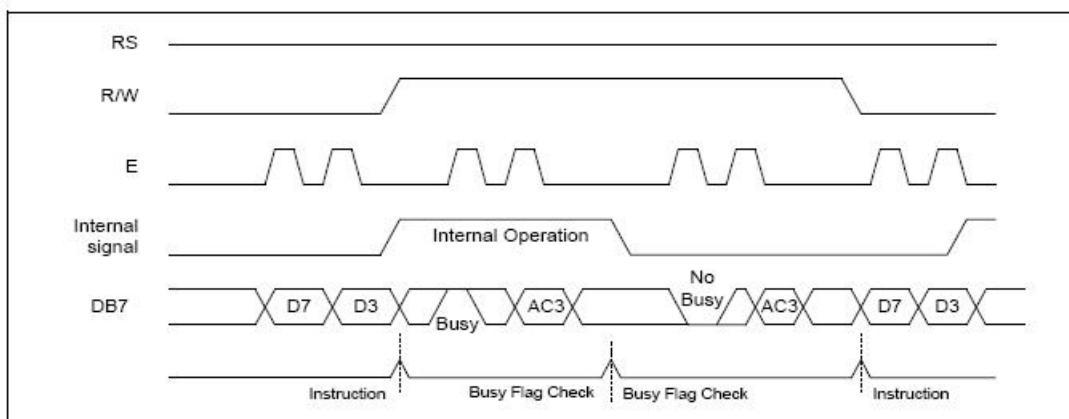
Inicializuje čidlo a přečte z něj data. Ověří jejich správnost a vypočítá z nich teplotu ve stupních celsia. Návratová hodnota je boolean podle úspěchu.

`ds18b20_print(int temp)`

Vytiskne na standardní výstup teplotu s přesností na jedno desetinné místo.

6.0.4 LCD displej

LCD displej komunikuje s mikrokontrolérem pomocí 4-bitové datové sběrnice a dvou řídicích signálů. Na začátku komunikace se pomocí řídicích signálů nastaví konfigurace přenosu. Časový průběh komunikace je na obrázku 6.2.



Obrázek 6.2: Časový diagram 4-bitové komunikace [24]

Vybrané funkce knihovny

`lcd_init(void)`

Inicializuje displej a nastaví kurzor na začátek.

`lcd_clear(void)`

Vymaže obsah displeje.

`lcd_putchar(unsigned char c)`

Umístí znak (c) na aktuální pozici kurzoru displeje.

`lcd_puts(const char *s)`

Vypíše v aktuální pozici kurzoru displeje řetězec (s).

`lcd_goto(unsigned char pos)`

Posune kurzor displeje na pozici (pos).

6.0.5 Otočný spínač

Funkce využívají průběhu signálu na vývodech otočného spínače podle obrázku 5.8.

Vybrané funkce knihovny

`rbutt_rotation(void)`

Ověří, zda došlo k otočení spínače. Pokud ano, vrací -1 pro otočení vlevo a 1 pro otočení v pravo. V případě, že nedošlo ke změně polohy, vrací 0.

`rbutt_middle(void)`

Ověří, zda došlo ke stisknutí středového tlačítka spínače. Vrací 1, pokud bylo stisknuto a 0 pokud nebylo.

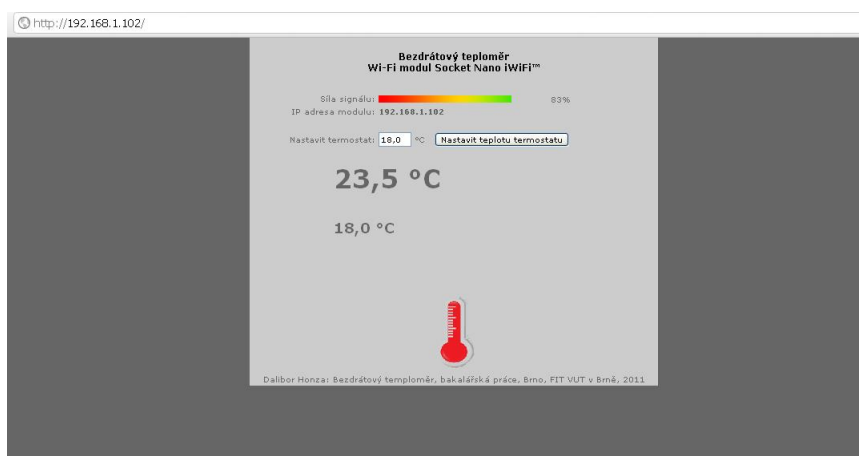
Kapitola 7

Implementace webové aplikace

Webová aplikace v projektu bezdrátového teploměru je velice jednoduchá. Její popis je v následující podkapitole a její účel je především demonstrační. Tato kapitola si mimo jiné klade za cíl, poukázat na obrovský potenciál zařízení. Moduly Socket Nano i WiFi v kombinaci s vhodnou webovou aplikací mohou velice efektivně tvořit výkonné systémy.

7.1 Popis aplikace

Webová aplikace pro zobrazování údajů z bezdrátového teploměru obsahuje jen ty nejnútější prvky. Na obrázku 7.1 je screenshot aplikace za provozu.



Obrázek 7.1: Webová aplikace bezdrátového teploměru za provozu

Webová aplikace se skládá z těchto prvků:

- ukazatel síly signálu
- IP adresa modulu
- pole pro zadání teploty termostatu - z důvodů jednoduchosti není implementována žádná ochrana vstupních dat
- tlačítko pro potvrzení nastavené hodnoty termostatu
- pole zobrazující aktuální teplotu

- pole zobrazující aktuální hodnotu termostatu

Pokud dojde ke změně teploty mikrokontrolér, odešle data do WiFi modulu a ten si upraví vnitřní proměnnou `teplota` na hodnotu odpovídající aktuální teplotě. Část webové stránky, která zobrazuje hodnoty proměnných (`teplota`, `termostat`), se každé dvě sekundy automaticky obnovuje. To z toho důvodu, aby zobrazené hodnoty byly stále aktuální. Pokud dojde k manuální změně nastavení termostatu hardwarovým otočným spínačem, je situace stejná. Pokud uživatel změní hodnotu termostatu na webové stránce, nová hodnota se odešle webovým formulářem metodou GET. WiFi modul proměnnou zpracuje a její novou hodnotu si uloží do paměti. Jakmile se bude mikrokontrolér ptát modulu na změny, načte si novou hodnotu a na jejím základě vypíše nové údaje na LCD displej, případně provede nějakou další akci.

7.2 Možnosti rozšíření

Webová aplikace použitá k prezentování funkce bezdrátového teploměru je velice jednoduchá a její hlavní význam byl demonstrační. Ovšem možnosti konstrukce tohoto typu jsou téměř neomezené. Vše spočívá jen ve vhodně vytvořené webové aplikaci, která bude hlavním interakčním prvkem mezi uživatelem a připojeným hardwarem. Pokud se zamyslíme nad mikrokontrolérem, zjistíme že už i PIC16F690, který je použit v této konstrukci, má velice zajímavé možnosti vzhledem k možným periferiím. K výstupům lze připojit efekty, které mohou ovládat libovolný spotřebič nebo zařízení. Je vybaven analogovými i digitálními vstupy. Navíc obsahuje komparátor. Je možné připojit regulační prvky a další různé komponenty. Uvedu příklad dvou vizí, které by bylo možné realizovat pomocí této konstrukce, doplněné o vhodné periferie a o odpovídající webovou aplikaci.

7.2.1 Meteorologická stanice

Představme si zařízení, které umožňuje snímat okolní teplotu vzduchu. Je osazeno čidlem, které měří tlak. Navíc pomocí speciální konstrukce korouhve dokáže měřit směr a rychlost větru. Obsahuje čidlo pro měření vlhkosti vzduchu. Využívá solární články, které dobíjí baterii zařízení a navíc měří intenzitu osvětlení. Všechny tyto údaje jsou zpracovávány a díky obvodu reálného času, který je společně s externí pamětí EEPROM připojen k mikrokontroléru zaznamenávány do paměti. Uživatel má možnost si veškeré informace prohlédnout na displeji, který je k mikrokontroléru připojen. Webová aplikace, která běží na serveru, zobrazuje přehledně všechny měřené informace. Součástí zařízení je i připojená webová kamera, se kterou je možné prostřednictvím aplikace otáčet. Data z EEPROM jsou zároveň odesílána přes internet na domácí server a ukládána do databáze. Stanici je možné ovládat i emailem. V případě potřeby dokáže poslat emailem aktuální stav naměřených hodnot, včetně fotografie z webové kamery. Celá stanice je připojena prostřednictvím WiFi modulu do sítě internet. Uživatel si po zadání přístupového hesla může kontrolovat situaci počasí v místě zařízení z libovolného konce světa.

7.2.2 Automatizovaná domácnost

Jiným příkladem potenciálu může být automatizovaná domácnost. Webová aplikace, která je spuštěna na WiFi modulu V každé místnosti je umístěno teplotní čidlo, které je spojeno sběrníci a připojeno k mikrokontroléru, který má přehled o teplotě ve všech místnostech

bytu. Navíc snímá venkovní teplotu. Pomocí další sběrnice jsou propojeny termoregulační hlavice na radiátorech v jednotlivých místnostech. Mikrokontrolér vyhodnocuje teplotu v místnosti v závislosti na programu, který je uložen v externí EEPROM paměti. V případě potřeby zapne kotel a přizpůsobí termoregulační ventil radiátoru požadované teplotě. K mikrokontroléru jsou připojeny taky ovládací prvky venkovních žaluzií. Pokud vyhodnotí, že se místnost moc přehřívá, zatáhne žaluzie. Naopak pokud čidlo rychlosti větru ukáže, že příliš fouká, tak mikrokontrolér vyšle povel k vytažení žaluzií tak, aby se nepoškodili. Díky pulzně výstupní modulaci mikrokontrolér může ve spojení s vhodnou výkonovou částí regulovat osvětlení v několika místnostech. Webová aplikace bude umožňovat z libovolného místa na světě přenastavit časový plán pro vytápění bytu. Dále může například zatáhnout žaluzie, aby neuschly kytky. Zhasnout zapomenuté světlo, které jsme ráno ve spěchu nechali svítit a na které nás WiFi modul ve spojení s mikrokontrolérem upozornil e-mailem.

Kapitola 8

Realizace a testování

V této kapitole je popsán postup a průběh výroby zařízení, jeho oživení a testování.

8.1 Realizace

8.1.1 Výroba DPS a sestavení

Při výrobě DPS klíčovou roli hrál kvalitní návrh desky plošného spoje v programu Eagle. Jak už bylo popsáno v kapitole 5.8, byla deska nakreslena převážně manuálně bez použití Autorouteru. Vzhledem k požadované kvalitě zařízení bylo žádoucí desku vyrobit co nejpřesněji. Vzhledem k tloušťce spojů a přítomnosti součástek určených pro povrchovou montáž, ruční kreslení obrazce plošného spoje nepřicházelo v úvahu. Proto jsem využil možnosti tvorby desky fotocestou.

Konstrukce obsahuje většinu součástek určených pro povrchovou montáž. Za zmínku stojí stabilizátory v běžném provedení. Z úsporných důvodů je vhodné, je umístit do vodorovné polohy, kdy nezabírají tolik místa. Mikrokontrolér nevyužívá patici, ale je osazen přímo v plošném spoji pod těleso WiFi modulu.

8.1.2 Oživení

Po pečlivém překontrolování a proměření odběru zařízení, byl prostřednictvím ICSP nahrán do mikrokontroléru první program. Po jeho odzkoušení byla deska připravena k testování funkce jednotlivých periférií. Významným ladicím prvkem a ukazatelem funkčnosti zařízení bylo zprovoznění sériové komunikace s PC. Pomocí programu HyperTerminal bylo možné s mikrokontrolérem komunikovat a díky ICSP i bez nutnosti odpojování od programátoru, což značně ušetřilo práci. Konstrukce po drobné úpravě DPS fungovala na první zapojení.

8.2 Testování

Testování probíhalo na několika úrovních. Testování při vývoji a testování samotného hardware.

Testování při vývoji začíná již v použití zmiňovaného programu Eagle, který kontroluje správnost zapojení a tím do jisté míry testuje funkčnost. Skutečně velkým pomocníkem, ale byl program PIC IDE [32], který dokáže simulovat běh PIC procesoru a dokáže k němu připojit řadu periférií: např. LCD displej, UART rozhraní, osciloskop a další. Díky tomuto

programu, ač v trial verzi, jsem měl možnost velkou část programového kódu odladit přímo na počítači, bez nutnosti nahrávat program do mikrokontroléru.

Po otestování v simulačním prostředí bylo třeba program vyzkoušet přímo v hardware. Jak již je uvedeno v 8.1.2, významným testovacím a ladícím prostředkem byla komunikace s PC přes sériový port. Závěrečné testování proběhlo při měření teploty v místnosti. Zařízení bylo připojené do místní sítě přes domácí WiFi Router. Fotografie zařízení jsou v příloze.

Kapitola 9

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat bezdrátový teploměr, který komunikuje s počítačem pomocí technologie WiFi. Tato technologie byla pro realizaci bezdrátového teploměru zvolena pro svoji flexibilitu a univerzálnost.

Při návrhu zařízení byl brán ohled i na možnost praktického využití zařízení. Teploměr byl doplněn o zobrazovací jednotku v podobě LCD displeje a manuálního ovládání, aby uživatel nebyl odkázán pouze na webovou aplikaci. Takto upravené zařízení se může v praxi uplatnit například jako bezdrátový termostat.

Práce obsahuje popis kompletního vývoje zařízení od samotného návrhu, přes realizaci hardware, implementaci firmware až po vytvoření webové aplikace určené k zobrazování údajů. Zařízení využívá WiFi modulu Socket Nano iWifi od firmy Connect One. Jedním z důvodů vzniku práce bylo demonstrovat jednoduchost a univerzálnost těchto modulů při použití v praxi.

Práce je rozdělena do kapitol podle logických celků návrhu. V kapitole 2 je čtenář seznámen obecně s bezdrátovými sítěmi. Hlavní část se věnuje charakteristice, popisu a bezpečnosti bezdrátových sítí WiFi. V kapitole 3 je rozebrán koncept a obecný návrh zařízení, které umožňuje snímat teplotu a vhodně ji předávat počítači prostřednictvím WiFi. Kapitola 4 se zabývá popisem WiFi modulu Socket Nano iWifi, jenž hrál klíčovou roli v návrhu celého zařízení. V kapitole 5 je popsán konkrétní hardware použitý v konstrukci. Další kapitola 6 se zabývá návrhem a implementací programu pro mikrokontrolér. Jako nedílná součást zařízení je webová aplikace, která je spuštěna na webovém serveru uvnitř WiFi modulu. Její vývoj měl smysl především v demonstraci funkce zařízení a je popsán v kapitole 7. Webová aplikace je však hlavní interakční prvek mezi uživatelem a hardwarem. WiFi moduly umožňují skrze ni oboustranně předávat libovolná data a signály. Díky tomu je její potenciál v kombinaci s příslušným hardwarem téměř neomezený. Výsledná efektivita a účelnost zařízení je proto závislá jen a jen na fantazii vývojáře.

Moduly od firmy Connect One představují velmi jednoduchý a efektivní způsob, jak připojit téměř libovolné zařízení k WiFi síti. Mají velice bohaté možnosti připojení, a proto naleznou uplatnění i u zařízení, které lze jen obtížně modifikovat. Využití modulů Socket Nano iWifi je opravdu všestranné. Tato práce ukazuje jen jednu z mnoha aplikací, které díky těmto modulům mohou být realizovány. Následný vývoj této aplikace by se mohl ubírat směry, které jsou jako příklad popsány na konci kapitoly 7. Bezdrátový teploměr by se mohl stát řídicí jednotkou jednoduché domácí automatizace. Dalším směrem vývoje může být doplnění o další čidla a realizace domácí meteorologické stanice.

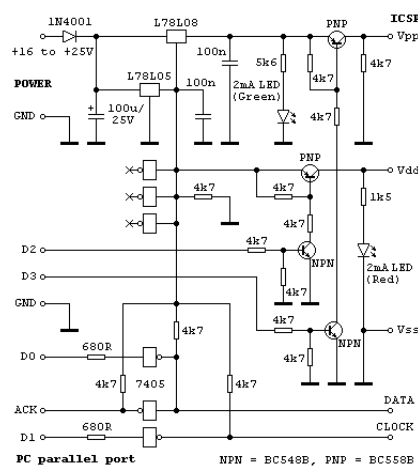
Literatura

- [1] HW.cz: ZigBee - novinka na poli bezdrátové komunikace. [Online] 8.6.2005, [cit. 2011-05-12].
URL <http://hw.cz/Rozhrani/ART1299-ZigBee---novinka-na-poli%-bezdratove-komunikace.html>
- [2] Connect One. [Online] 2011, [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.connectone.com/>
- [3] Zandl, P.: *Bezdrátové sítě WiFi: praktický průvodce*. Computer Press, 2003, ISBN 9788072266326.
- [4] Brisbin, S.: *Wi-Fi: postavte si svou vlastní wi-fi síť*. Wi-Fi Compatible, Neokortex, 2003, ISBN 9788086330136.
- [5] Wikipedie: Bezdrátová komunikace. [Online] 2. 2. 2011, [cit. 2011-05-14].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Bezdr%C3%A1tov%C3%A1_komu%nikace
- [6] Wikipedie: WiFi. [Online] 25. 4. 2011, [cit. 2011-05-14].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/WiFi>
- [7] Access Server: Fyzická vrstva Wi-Fi. [Online] 9. 5. 2008, [cit. 2011-05-14].
URL <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=200805%0006>
- [8] Wikipedie: WPA. [Online] 15. 4. 2011, [cit. 2011-05-14].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/WPA>
- [9] Spezial electronic: Bezdrátové WiFi/UART/SPI moduly s integrovaným web serverem. [Online], [cit. 2011-05-12].
URL <http://www.spezial.cz/connectone/bezdratove-seriove-rs%232-wifi-moduly-iwifi-mini-secure-socket-iwifi-connectone.html>
- [10] Wikipedie: Termistor. [Online] 2011-04-10, [cit. 2011-05-14].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termistor>
- [11] SENSOR-TEC: SMT160-30-92 Datasheet. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/530/530-063/%dsh.530-063.1.pdf
- [12] HW.cz: Jak na převodník SMT160-30-92. [Online] 17.11.2004, [cit. 2011-05-12].
URL <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Programovani/ART387-Jak-na%-prevodnik-SMT160-30-92.html>

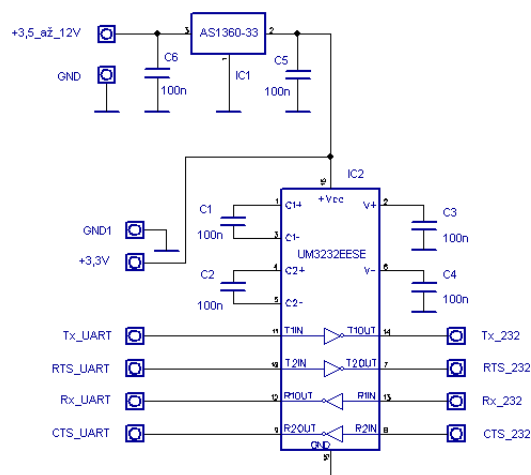
- [13] Dallas Semiconductor: DS18B20 Datasheet. [Online] 2008, [cit. 2011-05-12].
URL <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [14] Connect One: Nano Socket iWiFi, Data Sheet. [Online] 2009, [cit. 2011-05-14].
URL http://www.connectone.com/media/upload/Nano_Socket_iWiFi_DS.pdf
- [15] Connect One: Nano Socket iWiFi, Product Brief. [Online] 2009, [cit. 2011-05-14].
URL http://www.spezial.cz/pdf/Nano_Socket_iWiFi_PB.pdf
- [16] Spezial elektronik. [Online] 2011, [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.spezial.cz/>
- [17] M2M community. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL <http://m2m.com>
- [18] Spezial electronic: Základní elektrické zapojení WIFI/LAN modulů, aktualizace firmware. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.spezial.cz/apps/elektricke-pripojeni-wifi-1%an-modulu-connect-one.html>
- [19] Connect One: iChip Config Utility. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.connectone.com/support.asp?did=30>
- [20] Connect One: Nano Socket iWiFi, Product Brief. [Online] 2009, [cit. 2011-05-14].
URL http://www.spezial.cz/pdf/ConnectOne_DemoCard_24May09.pdf
- [21] Spezial electronic: Základní elektrické zapojení WIFI/LAN modulů, aktualizace firmware. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.spezial.cz/apps/vytvoreni-web-serveru-ve-wi-fi-modulu-mini-socket-iwifi.html>
- [22] Microchip Technology Inc.: PIC16F690 Datasheet. [Online] 2007, [cit. 2011-05-14].
URL <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41262a.pdf>
- [23] GME: LCD displej MC0802A Datasheet. [Online], [cit. 2011-05-12].
URL http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-122/%dsh.513-122.1.pdf
- [24] Samsung Electronics: S6A0069 Datasheet. [Online], [cit. 2011-05-12].
URL <http://www.digchip.com/data/409/409-3-149761-S6A0069.pdf>
- [25] ZIPPY: P-ANP1S Datasheet. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/630/630-289/%dsh.630-289.1.pdf
- [26] Wikipedie: RS-232. [Online] 31. 3. 2011, [cit. 2011-05-12].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- [27] Texas Instruments: MAX3232CD Datasheet. [Online] Verze 3.1 2005, [cit. 2011-05-12].
URL <http://www.ges.cz/sheets/m/max3232.pdf>

- [28] Spezial electronic: 3,3V UART↔RS232 převodník s UM3232. [Online], [cit. 2011-05-12].
URL http://www.spezial.cz/apps/3V-uart-rs232-prevodnik_um3%232.html
- [29] Taiwan Semiconductor: TS1084 Datasheet. [Online], [cit. 2011-05-12].
URL http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/330/330-182/%dsh.330-182.1.pdf
- [30] Pearce, M.: Heater 3 Project. [Online] 26. 4. 2001, [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.microchip.com/sourcecode/#heater>
- [31] The Full Wiki: 1-Wire. [Online] 19. 9. 2011, [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.thefullwiki.org/1-Wire>
- [32] OshonSoft: PIC IDE Simulator. [Online], [cit. 2011-05-14].
URL <http://www.oshonsoft.com/pic.html>

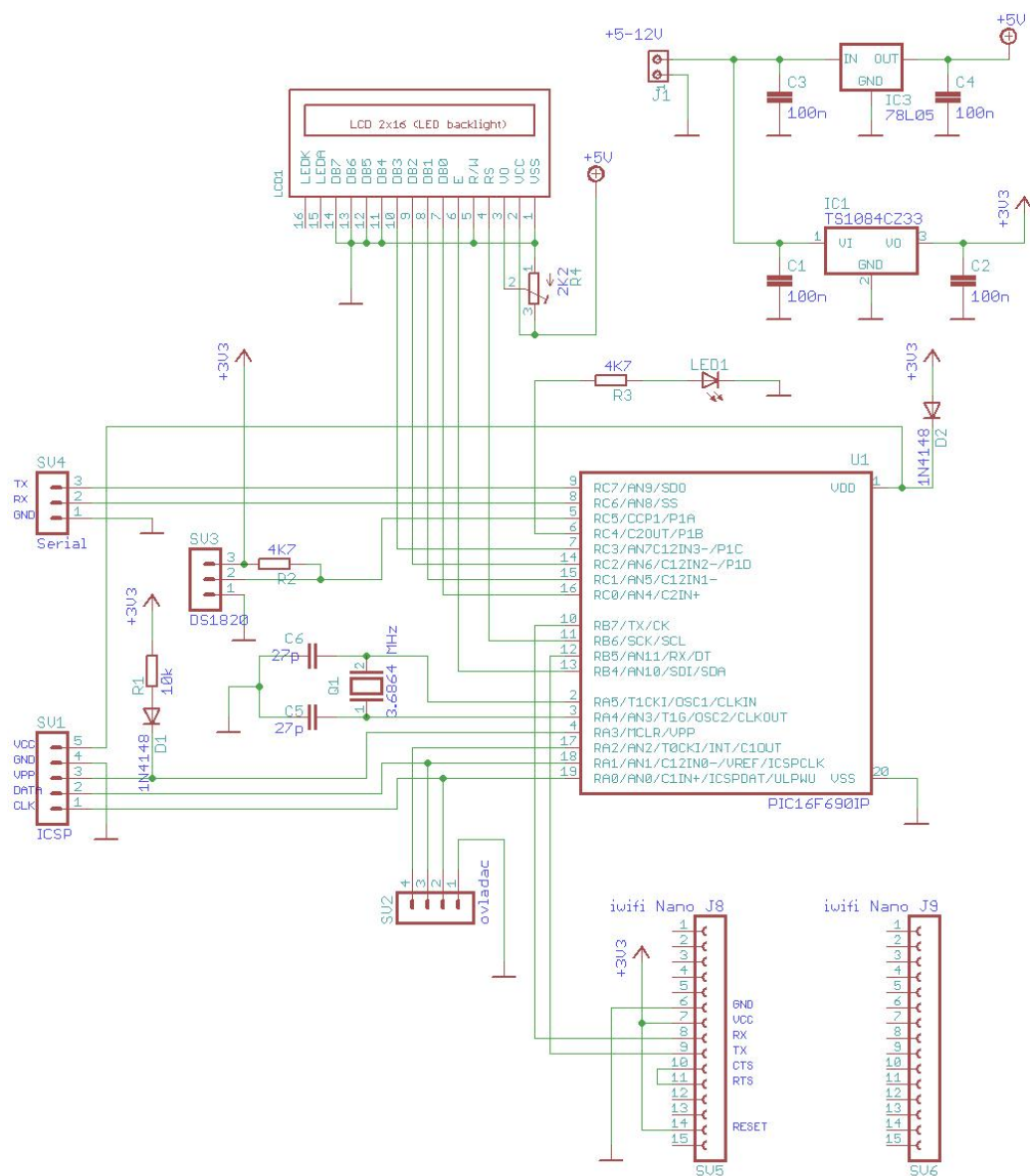
Úplná schémata zapojení



Obrázek A.1: Schéma zapojení programátoru



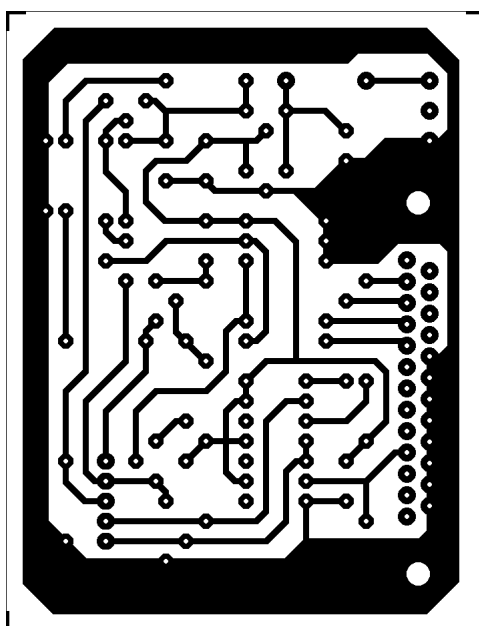
Obrázek A.2: Schéma zapojení převodníku RS-232/UART 3,3V



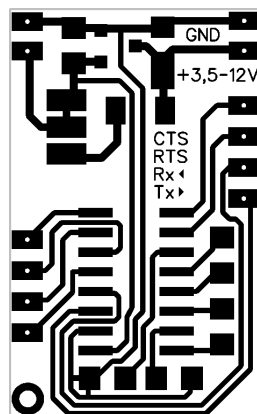
Obrázek A.3: Schéma zapojení bezdrátového teploměru

Dodatek B

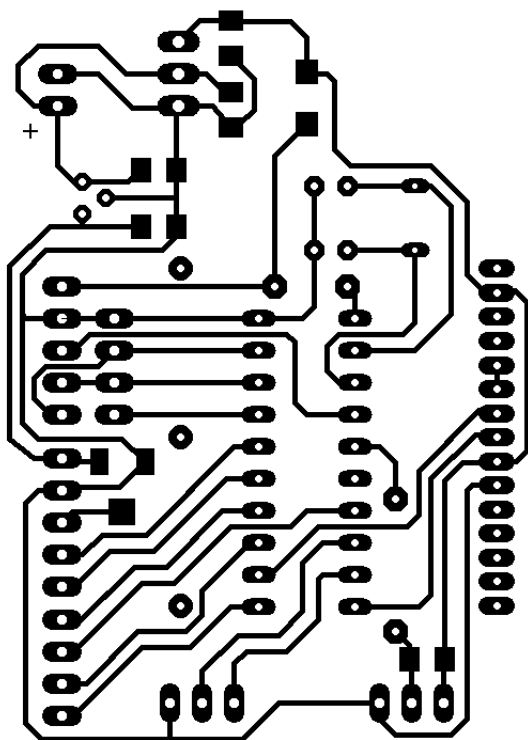
Desky plošných spojů s osazením



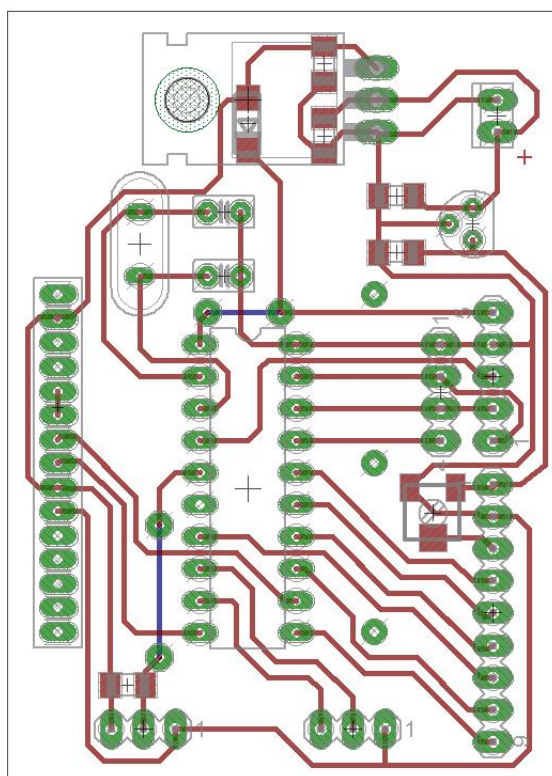
Obrázek B.1: DPS programátoru



Obrázek B.2: DPS převodníku



Obrázek B.3: DPS bezdrátového teploměru



Obrázek B.4: Osazení DPS bezdrátového teploměru

Dodatek C

Fotografie



Obrázek C.1: Fotografie programátoru



Obrázek C.2: Fotografie bezdrátového teploměru



Obrázek C.3: Fotografie bezdrátového teploměru s osazeným WiFi modulem

Dodatek D

Obsah CD

- Adresář Dokumentace – obsahuje bakalářskou práci ve formátu PDF a zdrojové soubory ve formátu TEX
- Adresář Firmware – obsahuje všechny zdrojové soubory mikrokontroléru
- Adresář Návrh – obsahuje desek plošných spojů, schémata a další podklady
- Adresář Fotografie – obsahuje fotografie

Dodatek E

CD